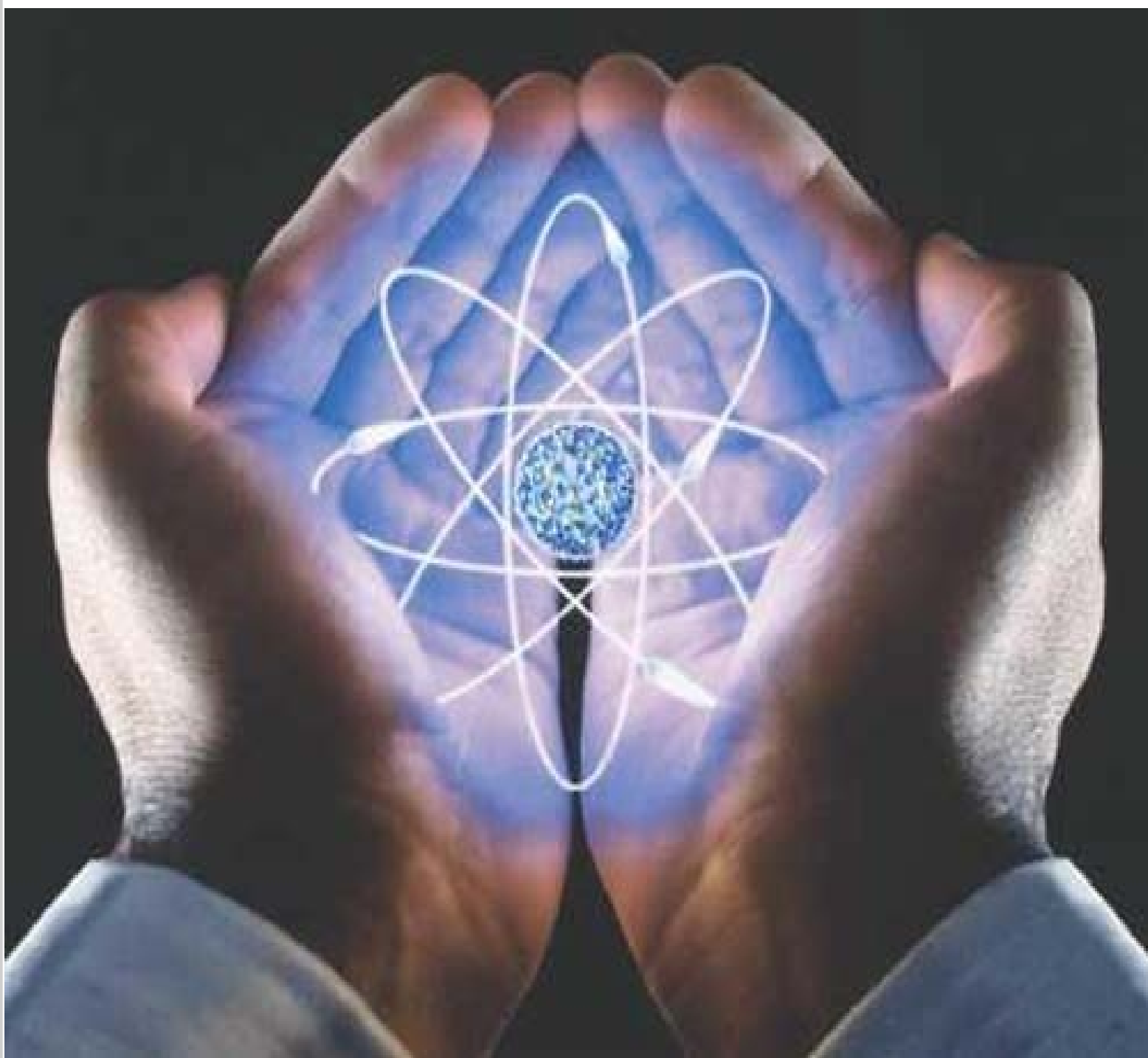


Виртуальный курс физики

Атом и атомное ядро

Задачи с решениями



АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

Задачи с решениями

З а д а ч а 1. Радиус орбиты электрона в атоме водорода равен $0,5 \cdot 10^{-10}$ м. Какова частота обращения электрона вокруг ядра? Масса электрона равна $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, а его заряд $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Дано: $r = 0,5 \cdot 10^{-10}$ м, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$\nu = ?$

Решение. На электрон со стороны атомного ядра, заряд которого равен заряду электрона, действует кулоновская сила

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}.$$

По второму закону Ньютона $F = ma$, где a – ускорение электрона, являющееся центростремительным, $a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{r}$.

Таким образом,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}.$$

Выразив линейную скорость через частоту обращения ($v = 2\pi\nu r$), получим

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m \frac{4\pi^2\nu^2 r^2}{r}.$$

Решив это уравнение относительно ν , найдем

$$\nu = \frac{e}{4\pi r \sqrt{\pi m \epsilon_0 r}},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Подстановка численных данных дает следующий результат:

$$\nu = 7,14 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: $\nu = 7,14 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$.

З а д а ч а 2. Атом водорода излучает фотон с длиной волны, равной 486 нм. Насколько при этом изменяется энергия атома?

Дано: $\lambda = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ <hr/> $\Delta W = ?$	Решение. В соответствии с постулатами Бора изменение энергии атома численно равно энергии излучения, т. е. $\Delta W = h\nu,$
---	--

где h – постоянная Планка; ν – частота излучения, связанная с длиной волны соотношением $\nu = \frac{c}{\lambda}$ (c – скорость света).

Таким образом,

$$\Delta W = h \frac{c}{\lambda}.$$

Подстановка численных данных приводит к следующему результату:

$$\Delta W = 4,1 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,6 \text{ эВ}.$$

Ответ: $\Delta W = 2,6 \text{ эВ}$.

З а д а ч а 3. В результате захвата ${}^4_2\alpha$ -частицы ядром азота ${}^{14}_7\text{N}$ образуются некоторый химический элемент ${}^A_Z\text{X}$ и протон. Определить, какой элемент образовался.

Дано: ${}^4_2\alpha, {}^{14}_7\text{N}, {}^1_1p$ <hr/> ${}^A_Z\text{X} = ?$	Решение. Ядерная реакция в соответствии с условием задачи записывается так: ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\alpha \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^1_1p.$
---	---

Из закона сохранения зарядового и массового чисел следует, что

$$14 + 4 = A + 1, \quad 7 + 2 = Z + 1.$$

Из этих уравнений получаем

$$A = 17, \quad Z = 8.$$

Таким образом, полученный химический элемент можно записать как A_8X . Из Периодической системы химических элементов находим, что данный элемент является изотопом кислорода ${}^{17}_8O$.

Ответ: ${}^A_ZX = {}^{17}_8O$.

З а д а ч а 4. При взаимодействии α -частиц с ядрами алюминия ${}^{27}_{13}Al$ образуются ядра кремния ${}^{30}_{14}Si$. Определить, какая частица кроме ядра кремния образуется в этой реакции и какая энергия выделяется при этом, если масса алюминия равна 1 г.

<p>Дано: ${}^{27}_{13}Al, {}^{30}_{14}Si, m = 10^{-3}$ кг</p> <hr/> <p>${}^A_ZX = ? Q = ?$</p>	<p><i>Решение.</i> Реакцию записываем следующим образом:</p> ${}^{27}_{13}Al + {}^4_2He \rightarrow {}^A_ZX + {}^{30}_{14}Si.$
---	--

Согласно закону сохранения зарядового числа $13 + 2 = Z + 14$, откуда следует, что $Z = 1$.

По закону сохранения массового числа $27 + 4 = A + 30$, откуда получаем $A = 1$. Таким образом, неизвестная частица является протоном, т. е.

$${}^A_ZX = {}^1_1p.$$

Рассчитаем выделяющуюся в реакции энергию:

$$Q = NW,$$

где N – число ядер алюминия, содержащихся в 1 г; W – энергия, выделяющаяся в реакции с одним ядром.

Так как $N = \frac{m}{\mu} N_A$ (μ – молярная масса алюминия; N_A – число Авогадро), а $W = \Delta mc^2$ (Δm – дефект массы), имеем

$$Q = \left(\frac{m}{\mu} N_A \right) \Delta mc^2.$$

Вычислим Δm :

$$\Delta m = \left[m({}^{27}_{13}Al) + m({}^4_2He) \right] - \left[m({}^1_1p) + m({}^{30}_{14}Si) \right].$$

Из таблиц находим

$$m\left({}_{13}^{27}\text{Al}\right) = 26,98146, \quad m\left({}_2^4\text{He}\right) = 4,00260, \quad m\left({}_1^1p\right) = 1,00783,$$

$$m\left({}_{14}^{30}\text{Si}\right) = 29,97377 \text{ а.е.м.}$$

Подставив эти значения в уравнение для определения Δm и произведя расчеты, получим

$$\Delta m = -0,00246 \text{ а.е.м.}$$

Знак « \leftarrow » означает, что энергия выделяется. Используя все известные величины, получаем, что выделяющаяся в ходе реакции энергия

$$Q = 0,5 \cdot 10^{23} \text{ МэВ} = 3 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Ответ: ${}_Z^A X = {}_1^1 p, \quad Q = 3 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$

З а д а ч а 5. Активность некоторого химического элемента уменьшилась в четыре раза в течение 8 сут. Чему равен период полураспада этого элемента? Ответ привести в сутках.

<p>Дано:</p> $N_0 = 4N, \quad t = 8 \text{ сут}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $T = ?$	<p><i>Решение.</i> По закону радиоактивного распада число нераспавшихся ядер составляет</p>
---	---

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{T}}.$$

При $N_0 = 4N$ получаем

$$N = 4N e^{-\frac{t}{T}}.$$

Отсюда следует, что $2^{\frac{t}{T}} = \frac{1}{4}$.

Решение приводит к следующему результату: $T = 4 \text{ сут.}$

Ответ: $T = 4 \text{ сут.}$

З а д а ч а 6. На атомной электростанции используется уран с атомной массой, равной 238 г/моль. Тепловая мощность этой станции составляет 1 МВт, а ее КПД равен 20 %. Сколько граммов урана расщепляется на станции за сутки, если дефект массы при делении одного ядра урана составляет $4 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$?

Дано:
 $\mu = 238$ г/моль, $t = 24$ ч,
 $P = 10^6$ Вт, $\Delta m = 4 \cdot 10^{-28}$ кг,
 $\eta = 0,2$

$m = ?$

Решение. За время t работы станции выделяется энергия

$$W_{\text{затр}} = WN = \frac{m}{\mu} N_A \Delta mc^2,$$

где W – энергия, выделяющаяся при делении одного ядра ($W = \Delta mc^2$);
 N – число делящихся за время t ядер; N_A – число Авогадро.

По определению

$$\eta = \frac{W_{\text{полезн}}}{W_{\text{затр}}} = \frac{\mu Pt}{m N_A \Delta mc^2},$$

так как $W_{\text{полезн}} = Pt$. Отсюда получаем

$$m = \frac{\mu Pt}{\eta N_A \Delta mc^2}.$$

Подстановка данных приводят к результату $m = 4,76 \cdot 10^{-3}$ кг.

Ответ: $m = 4,76$ кг.

